

DOCKET NO: 0846-0544-2 PCT

09/508692
416 Rec'd PCT/PTO 29 MAR 2000

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Jean-Baptiste ALBERTINI, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HERewith

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/FR98/02069

INTERNATIONAL FILING DATE: 28 September 1998

FOR: PROCESS FOR INCREASING THE FREQUENCY OF OPERATION OF A
MAGNETIC CIRCUIT AND CORRESPONDING MAGNETIC CIRCUIT

REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

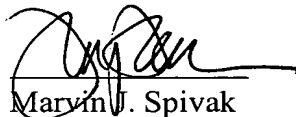
Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO</u>	<u>DAY/MONTH/YEAR</u>
FRANCE	97/12080	29 September 1997

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. **PCT/FR98/02069**. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak
Attorney of Record
Registration No. 24,913
William E. Beaumont
Registration No. 30,996

Crystal Square Five
Fourth Floor
1755 Jefferson Davis Highway
Arlington, Virginia 22202
(703) 413-3000

11/07/20

01/07/20

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PCT/FR 98/02969
09/508692 EUREC'D 12 OCT 1998
WIPO PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

#4
Priorité
C. Andueza
92600

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

22 JUL. 1998

Fait à Paris, le

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

PRIORITY DOCUMENT

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS Cédex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04
Télécopie : 01 42 93 59 30

THIS PAGE BLANK (USPTO)

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réservé à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES

29 SEP 1997

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

97 12080 -

DÉPARTEMENT DE DÉPÔT

DATE DE DÉPÔT

29 SEP 97

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

BREVATOME
25 rue de Ponthieu
75008 PARIS
422-5/S002

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention

☐ demande divisionnaire

☐ certificat d'utilité

☐ transformation d'une demande
de brevet européen

☒ demande initiale

☐ brevet d'invention

n° du pouvoir permanent B 12821.37RS 01 53 83 94 01

DD 1673

☐ certificat d'utilité n°

date

Établissement du rapport de recherche

☐ différé

☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

☐ oui

☐ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

PROCEDE POUR AUGMENTER LA FREQUENCE DE FONCTIONNEMENT D'UN
CIRCUIT MAGNETIQUE ET CIRCUIT MAGNETIQUE CORRESPONDANT.

3 DEMANDEUR (S)

n° SIREN

code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Etablissement de Caractère Scientifique,
Technique et Industriel

Forme juridique

Nationalité (s)

Adresse (s) complète (s)

Française

Pays

31,33 rue de la Fédération 75015 PARIS

FRANCE

En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre ☐

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

☐ oui

☒ non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

☐ requise pour la 1ère fois

☐ requise antérieurement au dépôt ; joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire - n° d'inscription)

R. SIGNORE (422-5/S002)

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION

SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

DIVISION ADMINISTRATIVE DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 Paris Cédex 08

B 12821.3/RS

Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

97 12080

TITRE DE L'INVENTION :

PROCEDE POUR AUGMENTER LA FREQUENCE DE FONCTIONNEMENT D'UN
CIRCUIT MAGNETIQUE ET CIRCUIT MAGNETIQUE CORRESPONDANT.

LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

R. SIGNORE
c/o BREVATOME
25 rue de Ponthieu
75008 PARIS

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

ALBERTINI Jean-Baptiste

194, cours de la Libération
38100 GRENoble

PEUZIN Jean-Claude

7, Lotissement des 4 Seigneurs
38320 HERBEYS

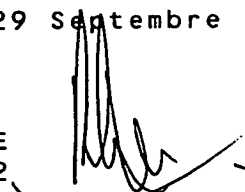
FRANCE

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

Paris le 29 Septembre 1997

R. SIGNORE
422-5/S002



**PROCEDE POUR AUGMENTER LA FREQUENCE
DE FONCTIONNEMENT D'UN CIRCUIT MAGNETIQUE
ET CIRCUIT MAGNETIQUE CORRESPONDANT**

5

DESCRIPTION

Domaine technique

La présente invention a pour objet un procédé pour
augmenter la fréquence de fonctionnement d'un circuit
10 magnétique et un circuit magnétique correspondant.

Elle trouve une application dans la réalisation de
composants magnétiques, notamment de composants
inductifs (typiquement des inductances, soit unitaires,
soit multiples, soit faisant partie d'un réseau de
15 composants élémentaires intégrés sur une même puce),
dans la réalisation de transformateurs, de capteurs de
champ magnétique ou de moyens de mesure d'une grandeur
liée à un champ magnétique, de têtes d'enregistrement
magnétique, etc...

20

Etat de la technique antérieure

Dans les composants inductifs (inductances,
transformateurs, têtes magnétiques, etc...), il est
avantageux de canaliser le flux magnétique par un
25 circuit magnétique de forte perméabilité, car cela
permet soit un gain de performances à encombrement
donné, soit une diminution d'encombrement pour des
performances données.

Dans les composants macroscopiques radiofréquence,
30 les circuits magnétiques sont en général en ferrite
massif alors que, dans les composants intégrés, on
utilise plus fréquemment des empilements de couches
minces d'alliage ferromagnétique (typiquement du Fe-Ni)

et d'isolant. La mise au point de tels composants intégrés fait actuellement l'objet d'une recherche active dans de nombreux laboratoires.

La miniaturisation de ces composants permet
5 d'augmenter leur fréquence de travail en réduisant notamment les phénomènes de propagation et de courants induits.

Les performances des composites isolant/alliage en
couches minces sont très supérieures à celles des
10 composants en ferrite et permettent d'envisager un fonctionnement à des fréquences débordant largement le domaine radiofréquence. Néanmoins, ces matériaux ont leurs propres limitations, liées soit à des phénomènes fondamentaux, soit à la technologie utilisée. Deux
15 phénomènes limitatifs liés à la technologie sont l'effet de peau et la résonance dimensionnelle. Tous deux ont pour effet de diminuer la perméabilité effective du composite et d'altérer sa réponse en fréquence.

20 Le premier peut être évité (ou limité) classiquement en choisissant une épaisseur des couches magnétiques de l'empilement nettement plus faible (ou du même ordre de grandeur) que la profondeur de peau. A titre d'exemple, l'épaisseur de peau est de 0,2 μm à
25 1 GHz pour l'alliage Fe-Ni.

Le second, lié à la résonance dimensionnelle, est associé à la propagation électromagnétique au sein du composite dans les directions parallèles aux couches. Il peut être limité, d'une part, en conservant une
30 épaisseur d'isolant suffisante entre les couches magnétiques (au détriment du facteur de remplissage utile) et d'autre part en limitant les dimensions latérales des circuits magnétiques ou des noyaux.

Ainsi, pour une fréquence de 1GHz, la largeur du circuit ou du noyau magnétique en FeNi doit être très inférieure à 700µm, une condition tout juste compatible avec un souci d'intégration.

5 Une autre limitation, non liée à la technologie et de nature plus fondamentale correspond au phénomène de résonance gyromagnétique. La fréquence de cette résonance constitue, en effet, une limite supérieure au domaine de fréquence utilisable, sachant qu'aux
10 fréquences inférieures à la résonance, la perméabilité relative est pratiquement constante et égale à sa valeur statique. Il est bien connu que, dans un alliage de composition donnée, on peut, par de simples traitements thermiques, faire varier la perméabilité et
15 la fréquence de résonance. Ainsi, la limitation due à la résonance gyromagnétique ne s'exprime-t-elle pas uniquement en terme de fréquence. On montre, en effet, que le produit $\mu_s \cdot f_r^2$, où μ_s est la valeur statique de la perméabilité et f_r la fréquence de résonance
20 gyromagnétique, est constant pour un alliage de composition donnée lorsque, par des traitements après dépôt, on modifie à la fois μ_s et f_r . Ce produit constitue donc un facteur de mérite du matériau, qui ne dépend que de sa composition. On montre, en fait, qu'il
25 ne dépend pratiquement que de l'aimantation spontanée de l'alliage. Pour l'alliage Fe-Ni, on a :

$$\mu_s \cdot f_r^2 = 1300 \text{ GHz}^2$$

Pour un composite de coefficient de remplissage η , on a simplement :

30
$$\mu_s \cdot f_r^2 = \eta \cdot 1300 \text{ GHz}^2$$

L'existence d'une telle relation montre que l'on ne peut pas modifier μ_s et f_r de manière indépendante.

En particulier, un fonctionnement à des fréquences de plus en plus élevées impose une diminution de la perméabilité magnétique.

5 Pour une fréquence de travail f donnée, on cherche donc, en général, à conditionner le matériau de telle sorte que la fréquence de résonance f_r soit située très largement au-dessus de f . Cela suppose que l'on puisse adapter le matériau à l'application considérée. On pourrait penser modifier la fréquence de résonance par
10 un traitement thermique après dépôt. Mais, cette technique présente des inconvénients : la compatibilité n'est pas assurée avec les procédés de fabrication du dispositif, et de toute manière, les variations obtenues restent faibles.

15 L'invention a pour but de remédier à ces inconvénients.

Exposé de l'invention

Il s'agit d'augmenter la fréquence de
20 fonctionnement d'un circuit magnétique. On entend par augmentation de la fréquence de fonctionnement d'un circuit magnétique, le fait de repousser à plus haute fréquence au moins le phénomène le plus limitatif, ce phénomène pouvant être notamment la résonance
25 gyromagnétique, l'effet de peau, la résonance dimensionnelle, etc...

A cette fin, l'invention préconise d'introduire dans le circuit, des coupures (ou "intervalles", "interruptions", "entrefers", "rainures" ou "gap" en
30 terminologie anglo-saxonne), ces coupures étant perpendiculaires au sens du champ, c'est-à-dire perpendiculaire à la ligne moyenne du circuit. Ces coupures vont créer un champ démagnétisant très

efficace dans le matériau. La perméabilité magnétique va se trouver abaissée sans que soient modifiés ni la forme globale du circuit, ni le matériau magnétique. Par exemple, dans le cas des têtes magnétiques d'enregistrement (dans lesquelles il existe déjà au moins un entrefer), on peut ajouter des coupures dans le reste du circuit pour augmenter la tenue en fréquence du matériau magnétique. Plus on introduit de coupures perpendiculaires au flux moyen (donc à la ligne moyenne du circuit magnétique dans le sens du champ), plus on augmente le champ démagnétisant et plus on diminue la perméabilité du circuit, améliorant d'autant sa tenue en fréquence. On peut ainsi adapter la fréquence de coupure du circuit magnétique à un cahier des charges et obtenir la meilleure perméabilité possible pour cette plage de fréquence avec un matériau donné.

On peut souligner que, dans un composant magnétique, on cherche parfois à maximiser la perméabilité du circuit magnétique afin de minimiser les pertes. Or, en raison de la relation soulignée plus haut, montrant que le produit de la perméabilité par le carré de la fréquence de résonance reste constant pour un matériau donné, plus la perméabilité magnétique effective du matériau est élevée plus la fréquence de résonance gyromagnétique est basse, ce qui limite la plage d'utilisation en fréquence du composant. Cette limitation peut gêner pour des applications haute fréquence comme la réalisation d'inductances intégrées HF (utiles notamment pour la téléphonie mobile), les transformateurs HF, les têtes d'enregistrement magnétique HF, ...

La présente invention va à l'encontre de ces tendances en préconisant au contraire une diminution de la perméabilité.

5 De façon précise, la présente invention a donc pour objet un procédé pour augmenter la fréquence de fonctionnement d'un circuit magnétique, ce procédé étant caractérisé par le fait qu'il consiste à former dans au moins une partie de ce circuit, des coupures
10 perpendiculaires à la ligne moyenne du circuit magnétique.

Selon un mode de mise en oeuvre avantageux, les coupures sont formées dans des plans parallèles.

Selon un autre mode de mise en oeuvre, on forme
15 des coupures périodiques avec un certain pas et une certaine épaisseur.

La présente invention a également pour objet un circuit magnétique, qui est caractérisé par le fait qu'il comprend, dans au moins une partie, des coupures
20 perpendiculaires à la ligne moyenne du circuit magnétique et disposées dans des plans parallèles.

Dans une variante avantageuse, ces coupures sont périodiques.

L'invention présente de nombreux avantages :

25 a) Elle permet d'adapter la plage de fréquence d'utilisation d'un noyau ou d'un circuit magnétique, donc d'un composant, en conservant la meilleure perméabilité possible. En pratique, on peut, en gardant un même matériau
30 magnétique, choisir une taille de coupures et un espacement de ces dernières de manière à ce que, en particulier, la fréquence de résonance gyromagnétique et les autres fréquences

caractéristiques soient adaptées au cahier des charges du composant. Au lieu de changer soit de matériau magnétique, soit la forme du circuit magnétique pour chaque plage de fréquence désirée, on peut ainsi disposer d'une large plage de fréquences possibles pour chaque couple (matériau, forme de circuit).

- b) Elle est totalement compatible avec les procédés de fabrication des circuits.
- c) Elle ne change pas la forme macroscopique du composant ni de son circuit magnétique.
- d) Elle permet de conserver un même matériau magnétique pour créer des composants ayant des fréquences de fonctionnement différentes.

15

Brève description des dessins

- la figure 1 montre les variations de la fréquence de résonance gyromagnétique f_r en fonction du rapport e/p de l'épaisseur (e) au pas (p) des coupures ;
- les figures 2a à 2e montrent les étapes de réalisation d'une partie d'un circuit magnétique selon une première variante de l'invention ;
- les figures 3a à 3c montrent les étapes de réalisation d'une partie d'un circuit magnétique selon une seconde variante de l'invention.

Exposé détaillé de modes de réalisation

Réaliser une couche magnétique interrompue périodiquement par des coupures d'épaisseur (e) pratiquées dans le sens de la ligne moyenne du circuit magnétique avec une période spatiale (p), avec un
 5 matériau ayant une perméabilité intrinsèque μ , de valeur statique μ_s , revient à créer artificiellement une couche de matériau de perméabilité effective μ_e , de valeur statique μ_{es} , telle que :

$$10 \quad 1/\mu_{es} = (1/\mu_s) + (e/p)$$

Lorsque (e/p) augmente, $1/\mu_{es}$ augmente de manière correspondante ce qui montre que μ_{es} diminue. La diminution de μ_{es} s'accompagne d'une augmentation corrélatrice de la fréquence de résonance conformément à
 15 la relation :

$$\mu_{es} \cdot f_r^2 = C,$$

où C est une constante.

Pour une fréquence f_r désirée, connaissant les constantes C et μ_s d'un matériau, on peut calculer la
 20 perméabilité μ_{es} à réaliser et trouver un couple épaisseur-pas (e,p) satisfaisant l'équation $1/\mu_{es} = (1/\mu_s) + (e/p)$. Le circuit obtenu, avec ses coupures de dimension et périodicité correspondantes, présente alors une tenue en fréquence jusqu'à f_r .

25 Les formules précédentes sont, en fait, assez approximatives, la notion de perméabilité devenant elle-même moins précise lorsqu'on s'approche de l'échelle des domaines magnétiques. Pour obtenir une meilleure précision, on peut aussi, pour chaque
 30 matériau magnétique envisagé, réaliser des dispositifs expérimentaux avec des coupures de dimensions et périodicités variables, et mesurer précisément la tenue

en fréquence du circuit magnétique pour retenir finalement l'optimum.

L'invention s'applique aux circuits magnétiques monocouches aussi bien qu'aux circuits multicouches. La figure 1 donne, par exemple, la variation de la fréquence de coupure f_c en fonction du rapport (e/p) pour un composite de fer-nickel et de nitrure de silicium. La relation liant la perméabilité μ_s et la fréquence f_r est, dans ce cas : $\mu_s \cdot f_r^2 = 1300(\text{GHz})^2$.

En l'absence de coupures, la fréquence f_r se situe un peu en dessous du Gigahertz et augmente jusqu'à environ 10 GHz pour des coupures dont l'épaisseur est de l'ordre du dixième du pas ($e/p=10^{-1}$).

De façon plus grossière, on peut aussi estimer l'influence des entrefers périodiques sur les deux autres fréquences caractéristiques liées à l'effet de peau et à la résonance dimensionnelle. En effet, dans un circuit magnétique de forme quelconque, mais comportant des entrefers périodiques, donc régulièrement répartis sur la longueur du circuit, on peut considérer que la perméabilité effective définie par la formule $1/\mu_{es}=1/\mu_s+e/p$ prend une signification locale. On montre alors que les deux fréquences limites considérées, celle due à l'effet de peau et celle due à la résonance dimensionnelle, sont multipliées respectivement par $\sqrt{\frac{\mu_s}{\mu_{es}}}$ et par $\frac{\mu_s}{\mu_{es}}$.

Dans toutes ces considérations, on suppose bien sûr que, pour un matériau multicouches (ou feuilleté), on a pratiqué des rainures sur l'ensemble des couches.

Les figures 2a à 2e illustrent cinq étapes d'un procédé de réalisation d'une couche magnétique enterrée dans un substrat. Dans cet exemple, la couche magnétique est une branche d'un circuit magnétique appartenant à une tête magnétique verticale à bobinage intégré telle que décrite dans la demande FR-A-2 745 111. Par ailleurs, cette couche magnétique est multicouche et les épaisseurs des différentes couches ne sont pas à la même échelle sur ces figures.

10 Dans ce procédé, on part d'un substrat 10 (fig. 2a), qui est par exemple en silicium. On dépose sur ce substrat une couche épaisse 12, de plusieurs micromètres d'isolant, par exemple de silice. Cette couche 12 est ensuite gravée à l'aide d'un masque possédant des ouvertures espacées périodiquement. On obtient alors (fig. 2b) des caissons 14 séparés par des parois 16. L'épaisseur de celles-ci définit l'épaisseur e des futures coupures et leur périodicité définit le pas p desdites futures coupures.

20 On dépose ensuite sur l'ensemble (fig. 2c) une sous-couche 20, par exemple par pulvérisation cathodique en Fe-Ni, et l'on forme un masque de résine 22 laissant dégagée la zone où l'on veut réaliser la couche magnétique interrompue par les coupures.

25 On dépose ensuite la couche magnétique 24 (figure 2d) par exemple par croissance électrolytique de FeNi à partir de la sous-couche 20. On délaque ensuite la résine, on recuit éventuellement l'ensemble et on dépose une couche d'isolant 26, par exemple en Si_3N_4 .

30 Les opérations de dépôt d'une sous-couche 20, de masquage, de réalisation d'un dépôt magnétique 24, de délaquage de la résine et de dépôt d'une couche d'isolant 26 sont répétées dans cet exemple de

réalisation plusieurs fois, de façon à obtenir un circuit magnétique composé d'un empilement de couches magnétiques séparées par des couches non magnétiques, la deuxième couche magnétique n'étant pas forcément recouverte par une couche isolante.

On planarise ensuite l'empilement ainsi obtenu par rodage mécanique ou mécano-chimique (fig. 2e). On obtient alors une suite de pavés magnétiques 30 séparés les uns des autres par des coupures 32.

Dans le cas d'un circuit magnétique monocouche, on fait croître, par exemple électrolytiquement, la première couche magnétique 24 à partir de la sous-couche 20 suivant une hauteur suffisante pour remplir les caissons et on planarise ensuite comme à la figure 2e après délaquage.

Les figures 3a à 3c illustrent schématiquement un autre mode de mise en oeuvre du procédé de l'invention. Sur la figure 3a, on part d'un substrat 40 (par exemple en silicium) et l'on recouvre ce substrat d'une couche isolante 42 (par exemple en SiO_2). On dépose ensuite un empilement de couches alternées (fig. 3b), respectivement magnétiques 44 et isolantes 46. Les couches magnétiques peuvent être déposées par pulvérisation cathodique. Les couches isolantes peuvent être en Si_3N_4 et être disposées par pulvérisation cathodique. Un masque de résine 48 est ensuite formé avec des ouvertures 50.

Enfin, par une opération de gravure (fig. 3c), on forme les coupures 52 dans l'empilement multicouche.

Comme précédemment, cette variante de réalisation peut être utilisée pour former un matériau magnétique monocouche.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour augmenter la fréquence de fonctionnement d'un circuit magnétique, caractérisé par le fait qu'il consiste à former, dans au moins une partie de ce circuit, des coupures (32, 52) perpendiculaires à la ligne moyenne du circuit magnétique.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les coupures sont formées dans des plans parallèles.
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on forme des coupures périodiques (32, 52) avec un certain pas (p) et une certaine épaisseur (e).
4. Circuit magnétique, caractérisé par le fait qu'il comprend, dans au moins une partie, des coupures (32, 52) perpendiculaires à la ligne moyenne du circuit magnétique et situées dans des plans parallèles.
5. Circuit magnétique selon la revendication 4, dans lequel les coupures sont périodiques (32, 52).
6. Circuit selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, dans lequel la partie du circuit comprenant les coupures est formée par une seule couche de matériau magnétique.
7. Circuit selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, dans lequel la partie du circuit comprenant des coupures et formée par un empilement de

couches alternativement magnétiques (44) et isolantes
46).

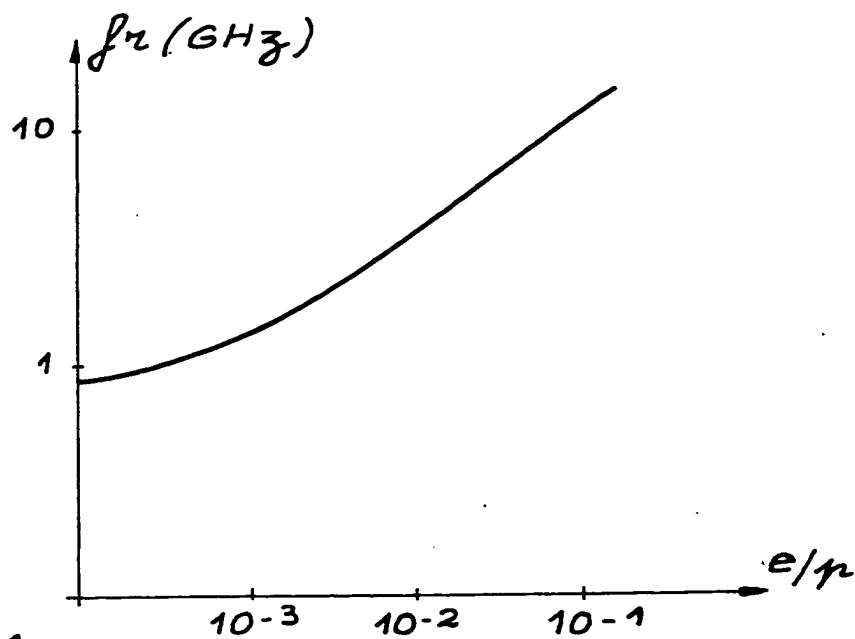


FIG. 1

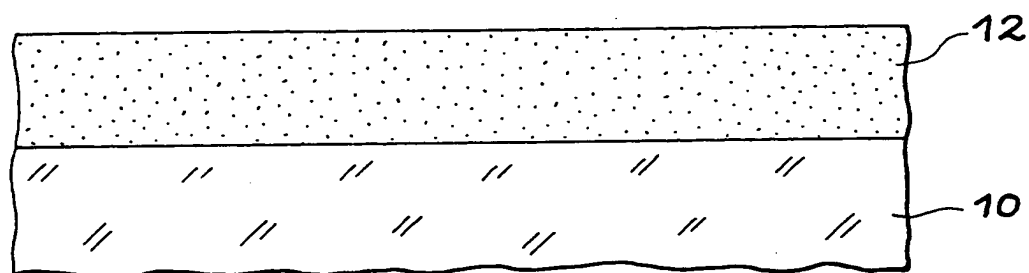


FIG. 2a

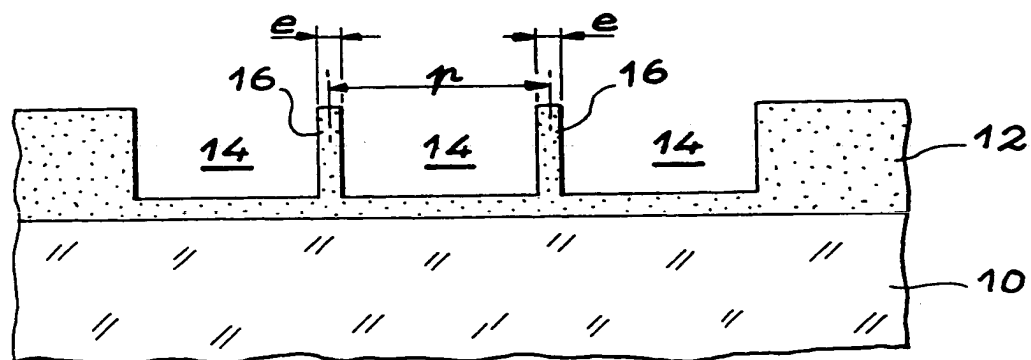


FIG. 2b

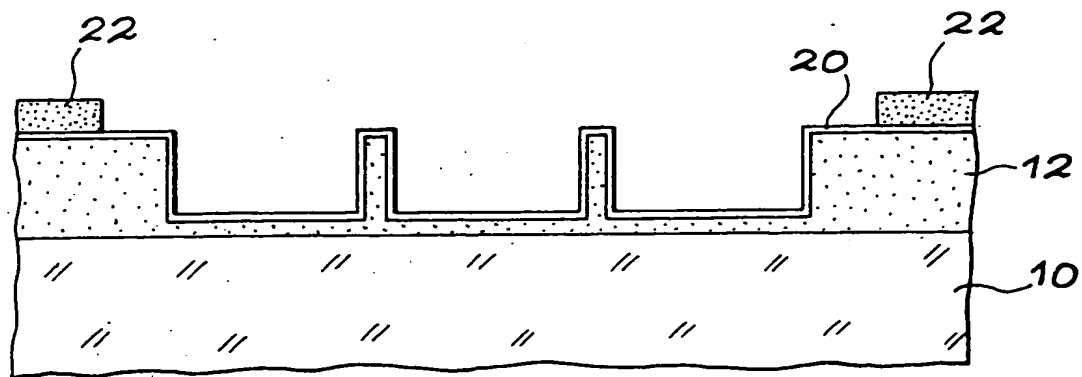


FIG. 2c

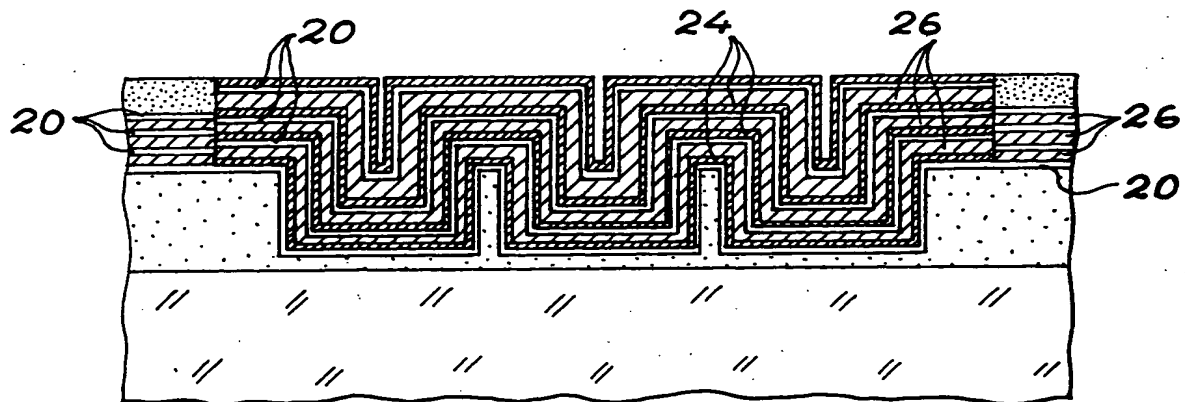


FIG. 2d

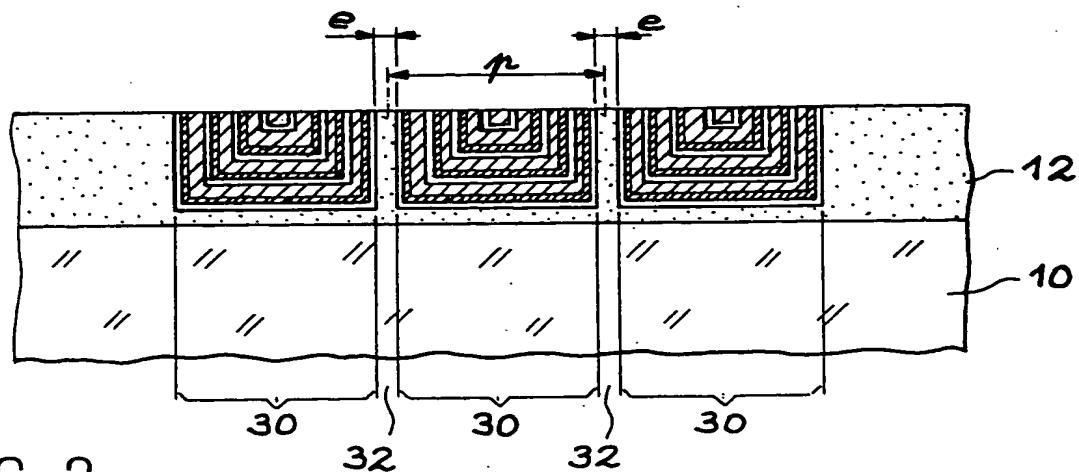


FIG. 2e

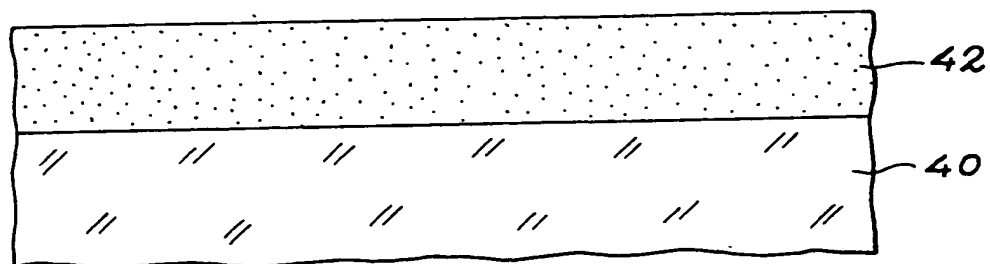


FIG. 3a

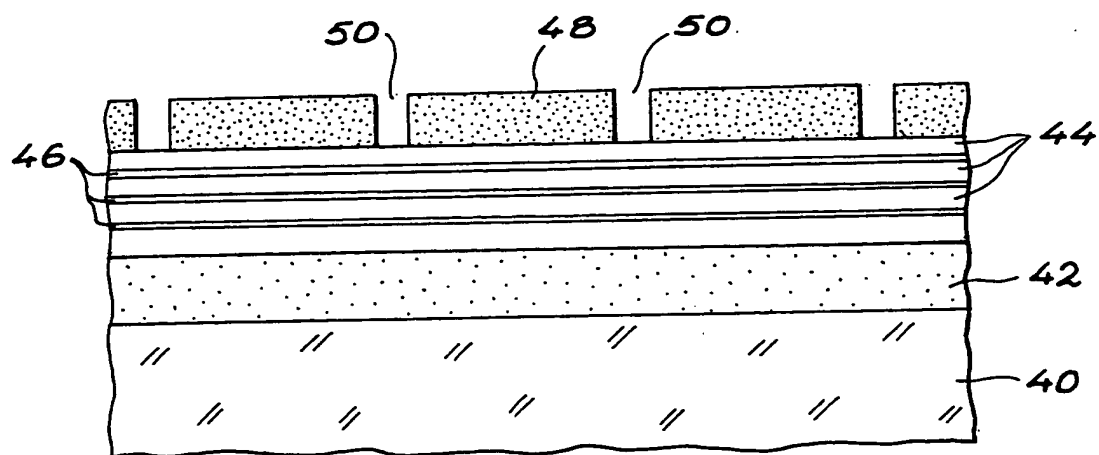


FIG. 3b

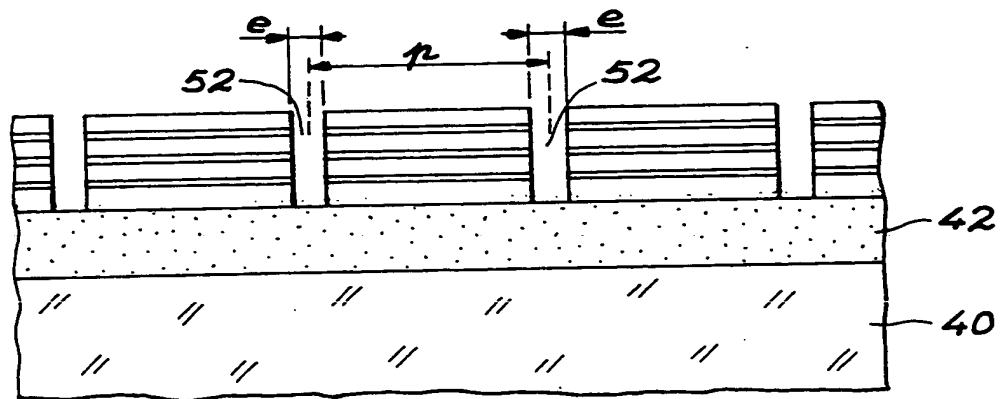


FIG. 3c